

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2003-167188  
(P2003-167188A)

(43) 公開日 平成15年6月13日 (2003.6.13)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

G 0 2 B 13/00  
13/18

識別記号

F I

G 0 2 B 13/00  
13/18

テマコード\* (参考)

2 H 0 8 7

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2002-118318(P2002-118318)

(22) 出願日 平成14年4月19日 (2002.4.19)

(31) 優先権主張番号 特願2001-289992(P2001-289992)

(32) 優先日 平成13年9月21日 (2001.9.21)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004329

日本ビクター株式会社

神奈川県横浜市神奈川区守屋町3丁目12番  
地

(72) 発明者 糸長 誠

神奈川県横浜市神奈川区守屋町3丁目12番  
地 日本ビクター株式会社内

(74) 代理人 100083806

弁理士 三好 秀和 (外8名)

Fターム(参考) 2H087 KA13 LA01 PA01 PA17 PB01  
QA02 QA07 QA14 QA34 RA05  
RA12 RA13 RA42 UA01

(54) 【発明の名称】 光ディスク用対物レンズ

(57) 【要約】

【課題】 開口数が0.75以上で、軸上収差、軸外収差と面間の偏芯収差にすぐれた、両面非球面の単レンズによる光ディスク用対物レンズを提供する。

【解決手段】 対物レンズ11の中心厚さ $t$ と焦点距離 $f$ が次の式

$$t > (1+E) f$$

を満たし、かつ、当該レンズの第1面1の頂点の曲率半径 $R1$ が次の式を満たす。

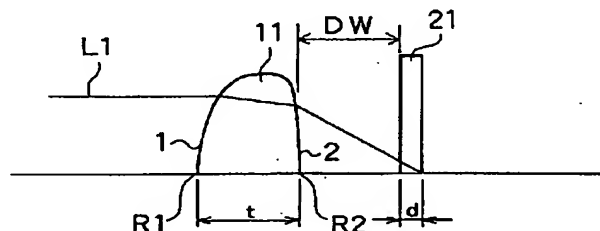
$$(1-D) A < R1 < (1+D) A$$

$$A = B/C$$

$$B = 0.85 f (n-1)$$

$$C = n (0.60866 - 0.11 \cdot t/f - 0.1272 \cdot d/f) (0.83 + 0.2 \cdot NA)$$

ここに、 $NA$ は当該レンズの開口数、 $n$ は当該レンズの屈折率、 $d$ は当該光ディスクの透過層の厚さである。ここで、 $E$ は、0以上の数であり、 $D$ は、0.05である。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 両面が非球面とされた開口数が0.75以上の単レンズであって、中心厚さ $t$ と焦点距離 $f$ が次の式を満たし、

$$t > (1+E) f$$

かつ、第1面の頂点の曲率半径 $R_1$ が次の式を満たす光ディスク用対物レンズ。

$$(1-D) A < R_1 < (1+D) A$$

$$A = B/C$$

$$B = 0.85 f (n-1)$$

$$C = n (0.60866 - 0.11 \cdot t/f - 0.1272 \cdot d/f) (0.83 + 0.2 \cdot NA)$$

ここに、 $n$ は当該レンズの屈折率、 $d$ は当該光ディスクの透過層の厚さであり、 $E$ は0以上の数であり、 $D$ は0.05である。

【請求項2】 両面が非球面とされた開口数が0.75以上の単レンズであって、中心厚さ $t$ と焦点距離 $f$ が次の式を満たし、

$$t > (1+E) f$$

かつ、レンズの内部における最大高さの光線の光軸と成す角度 $u_1$ が、次の式を満足する光ディスク用対物レンズ。

$$(1-D) \sin(K) < \sin(u_1) < (1+D) \sin(K)$$

$$K = (0.60866 - 0.11 \cdot t/f - 0.1272 \cdot d/f) (0.83 + 0.2 \cdot NA) \cdot NA / 0.85$$

ここに、 $d$ は当該光ディスクの透過層の厚さであり、 $E$ は0以上の数であり、 $D$ は0.05である。

【請求項3】 結像倍率が0である請求項1又は請求項2に記載の光ディスク用対物レンズ。

【請求項4】 光源の波長が0.45 $\mu$ m以下である請求項1乃至請求項3の何れか1項に記載の光ディスク用対物レンズ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、大容量光ディスクを実現する高い開口数(NA)を有する光ディスク用対物レンズに関する。

## 【0002】

【従来の技術】 従来、CDディスクは、開口数(NA)が0.45~0.5の対物レンズを用い、780nm程度の波長を有するレーザー光で読み取り又は書き込みされている。また、DVDディスクは、開口数が0.6程度の対物レンズを用い、650nm程度の波長を有するレーザー光で読み取り又は書き込みが行われている。

【0003】 ところで、光ディスクの容量を上げるために、より短い波長の光源とより高い開口数を有するレンズを使用する次世代光ディスク・ピックアップシステムの開発が進められている。

【0004】 そして、より短い波長を有するレーザーとしては、波長が約400nmのいわゆる青色レーザーが考えられている。

【0005】 前記高い開口数を有する対物レンズとしては、例えば以下のシステムが報告されている。

【0006】 (A) Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 39(2000) pp. 978-979 M. Itonaga et al. "Optical Disk System Using High-Numerical Aperture Single Objective Lens and Blue LD".

10 (B) Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 39(2000) pp. 937-942 I. Ichimura et al. "Optical Disk Recording Using a GaN Blue-Violet Laser Diode".

ここに、(A)は、開口数が0.7の単レンズを用いたシステムを報告し、(B)は、開口数が0.85の2群レンズを用いたシステムを報告する。

【0007】 これらは、高NA化によるシステム余裕の低下に対処するために、ディスクの再生透過層の厚さを、CDの1.2mmないし、DVDの0.6mmから薄くしていることが別の特徴である。(A)によれば、0.12mmで、(B)によれば0.1mmになっている。システムの余裕度の分配の仕方にも依るが、概ね0.3mmより薄い透過層であることが望まれている。

【0008】 前記(B)の2群レンズを用いたシステムは、開口数は(A)に比べて大きいものの、組立工程に必要な上にレンズが2枚必要なことから、量産性に劣り且つコストも高くなる。

【0009】 そこで、次世代システムには、開口数が0.7以上の単レンズによる光ディスク用対物レンズが望まれている。

30 【0010】 特開平4-163510号公報には、開口数が0.6~0.8程度の単レンズを用いた対物レンズが記載されている。

## 【0011】

【発明が解決しようとする課題】 高い開口数を有するレンズの設計が可能であることは、従来から知られている。たとえば、「特に口径比の大きい非球面アプラナート・レンズに関する研究」(吉田正太郎、東北大学科学計測研究所報告、1958年3月)には、高い開口数を有する両面非球面レンズの設計法が詳しく記されている。

40

【0012】 しかしながら、単に設計が可能と言うだけでは、高い開口数を有するレンズを製作することが出来ない。このようなレンズを実際に製作するためには、製造公差が確保された設計である必要がある。またさらに、光源の波長が変動した場合、あるいは波長に幅がある場合の影響を低減するために、色収差の影響が少ないレンズである必要がある。

50 【0013】 ここで両面非球面レンズの場合、最も厳しく、かつ重要な製造公差は、面と面の間の偏芯(面間偏芯)である。したがって、対物レンズへの垂直入射の場

合の収差である軸上収差と、斜め入射の場合の収差である軸外収差に代表される対物レンズの設計性能と、製造公差を同時に満足する必要がある。

【0014】しかし、レンズの設計性能と製造公差は、とりわけ、開口数が0.75より高いと、両立することが難しくなる。

【0015】実際、このような両面非球面のレンズでは、軸外収差は、前述の製造公差を考慮せずに設計した場合でも開口数が上がるにつれ劣化し、製造公差を考慮するとさらに悪くなる。すなわち、偏芯公差を大きく確保するためには、軸上収差と軸外収差特性を犠牲にする必要がある。

【0016】軸上収差は、偏芯公差を考慮してもわずかに劣化するだけであるが、軸外収差は、開口数が0.6を超えるような高い開口数を有するレンズにおいては、製造が可能になるミクロンオーダーの公差を確保するとかなり犠牲になる。また色収差に関しては、レンズ自体が製造できることがまず優先されるため、製造公差を満足しつつ、出来るだけ色収差特性の良いレンズ形状とする必要がある。

【0017】前述のような理由で、性能が良い両面非球面レンズの形状の探索が従来からなされ、種々の文献が報告されている。特開平5-241069号公報、特開平4-163510号公報は、その一例である。

【0018】特開平4-163510号公報には、性能が良好なレンズの形状範囲が記載されている。しかしながら、この文献では、偏芯公差の確保について言及されていない。開口数が唯一0.75を超える実施例2のレンズ（波長が532nmで、開口数が0.8の仕様）では、僅かな偏芯でも大きな収差が発生するという問題点があった。また、色収差に関しての記述はない。

【0019】さらに、これらの先行文献の示す範囲は、かなり広く、これらの範囲において、良いレンズを実際に設計することが必ずしも出来ないという問題点があった。

【0020】本発明は、前述の課題に鑑みて提案されるものであって、開口数が0.75以上で、軸上収差、軸外収差と面間の偏芯収差にすぐれ、かつ色収差特性も優れた、両面非球面の単レンズによる光ディスク用対物レンズを提供することを目的とする。

【0021】

【発明を解決するための手段】 前述の課題を解決するために、本発明に係る光ディスク用対物レンズは、両面が非球面とされた開口数が0.75以上の単レンズであって、中心厚さ $t$ と焦点距離 $f$ が次の式を満たし、

$$t > (1+E) f$$

かつ、第1面の頂点の曲率半径 $R1$ が次の式を満たす。

$$【0022】(1-D) A < R1 < (1+D) A$$

$$A = B/C$$

$$B = 0.85 f (n-1)$$

$$C = n (0.60866 - 0.11 \cdot t/f - 0.1272 \cdot d/f) (0.83 + 0.2 \cdot NA)$$

ここに、 $n$ は当該レンズの屈折率、 $d$ は当該光ディスクの透過層の厚さであり、 $E$ は0以上の数であり、 $D$ は0.05である。

【0023】 $E$ は、好ましくは0、より好ましくは0.1、さらに好ましくは0.2である。

【0024】また、本発明に係る光ディスク用対物レンズは、両面が非球面とされた開口数が0.75以上の単レンズであって、中心厚さ $t$ と焦点距離 $f$ が次の式を満たし、

$$t > (1+E) f$$

かつ、レンズの内部における最大高さの光線の光軸と成す角度 $u1$ が、次の式を満足する。

$$【0025】(1-D) \sin(K) < \sin(u1) < (1+D) \sin(K)$$

$$K = (0.60866 - 0.11 \cdot t/f - 0.1272 \cdot d/f) (0.83 + 0.2 \cdot NA) \cdot NA / 0.85$$

ここに、 $d$ は当該光ディスクの透過層の厚さであり、 $E$ は0以上の数であり、 $D$ は0.05である。

【0026】 $E$ は、好ましくは0、より好ましくは0.1、さらに好ましくは0.2である。

【0027】好ましくは、結像倍率は0である。また、好ましくは、光源の波長は0.45 $\mu$ m以下である。

【0028】本発明に係る光ディスク用対物レンズにおいては、光ディスクの透過層の厚さは、CDディスクやDVDディスクより薄い、0.3mm以下であることが好ましい。また、本発明に係る光ディスク用対物レンズは、レーザーの波長が450nm以下のシステムに適用することが好ましい。

【0029】また、本発明に係る光ディスク用対物レンズは、結像倍率が0であることが好ましい。すなわち、この対物レンズは、少なくとも誤差なく製造されていて、かつ光源の波長が設計の基準波長と一致している場合、平行光を集光することが好ましい。

【0030】本発明に係る光ディスク用対物レンズは、上述のような構成を有し、レンズの両面の間の偏芯公差が製造可能な範囲にあるが、軸外収差特性の劣化は小さい。

【0031】本発明において、焦点距離 $f$ は、好ましくは10mm以下であり、さらに好ましくは3.5mm以下である。

【0032】すなわち、光束の大きさ（直径） $\phi$ は、次の式によって与えられ、開口数（NA）と焦点距離 $f$ に依存する。

$$【0033】\phi = 2 \times NA \times f$$

焦点距離が10mmでNAが0.75のとき、 $\phi = 15$ mmとなる。この直径は、多くの光ピックアップ装置が

$\phi < 5$ mm程度の光束を用いていることから比べると、

大きいといえる。従って、焦点距離は10mm以下であることが望まれる。さらに、 $\phi = 5\text{mm}$ とすると、 $NA = 0.75$ で $f = 3.33\text{mm}$ であることから、焦点距離が3.5mm以下であることがさらに望ましい。

【0034】また、焦点距離は、好ましくは0以上であることが好ましく、さらに好ましくは0.2mm以上である。

【0035】すなわち、作動距離は、光ディスクの厚さに依存し、薄いディスクでは大きくなる。薄いディスクを用いて、焦点距離が短く超小型なレンズを非常に短い作動距離で使用するシステムが考えられる。例えば、ディスクを表読み構造とすれば、焦点距離が0.1mmであっても、レンズの設計が可能である。したがって、焦点距離の下限としては、 $f > 0$ であればよいことになる。ただし、実際には、あまりに小型なレンズを製造する手段は現時点では、確立されていない。この点を考えると、 $f > 0.2\text{mm}$ 程度が現状の下限ともいえる。

【0036】好ましくは、レンズ厚さ $t$ の上限は、次の式によって規定される作動距離 $dw$ を正にするように定める。

$$【0037】 dw = fb - d / n'$$

ここで、 $d$ は光ディスクの厚さであり、 $n'$ は光ディスクの屈折率である。 $fb$ は、次の式で規定される。 $R1$ は、前述の式によって規定されている。

【0038】 $fb = f(1 - t(n - 1) / n / R1)$   
すなわち、レンズが厚くなると、作動距離が短くなるが、レンズとして成立するためには、作動距離が有限である必要がある。したがって、レンズ厚さの上限は、作動距離が有限な値である範囲になる。この範囲は、レンズの焦点距離と、厚さと、ディスクの厚さで決まる。

【0039】レンズの厚さの範囲は、例えば1.5mm以上、3.5mm以下に設定することができる。

【0040】本発明は、前述の光ディスク用対物レンズを備える光ピックアップ装置に適用することができる。好ましくは、光ピックアップ装置は、前記光ディスク用対物レンズを用いて、光ディスクのトラックに沿って光束を集光して照射し、情報信号の記録又は再生を行う。好ましくは、光ピックアップ装置の結像倍率は0である。

【0041】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係る光ディスク用対物レンズの実施の形態について、図面を参照して詳細に説明する。

【0042】まず、本実施の形態の光ディスク用対物レンズが満たす各条件式の説明に先立ち、本実施の形態のレンズの設計に関して基本的な軸上収差特性、軸外収差特性、偏芯公差のバランスについて説明する。ここで、偏芯公差とは、偏芯がある場合の波面収差の増加で定義される。

【0043】本実施の形態では、軸上収差、軸外収差及

び偏芯公差を確保するために、次の3つの条件のバランスを取ることが要請される。

【0044】(1) 軸上収差を確保するため、レンズの球面収差が補正されていること。

【0045】(2) 軸外収差を確保するため、レンズが正弦条件を満たしていること。

【0046】(3) 偏芯公差を確保するため、第2面が単独で正弦条件を満たしていること。

【0047】さらに加えて、色収差特性の低下を防ぐために、次の条件を満たすことが求められる。

【0048】(4) 波長誤差がある場合の各波長での最良像面の収差増加が小さいこと。これを、波長誤差による球面収差と呼ぶ。

【0049】(5) 光源に、波長揺らぎがある場合の収差増加を押さえるために、波長変化による焦点位置の変化が小さいことが要請される。波長揺らぎは、半導体レーザーのノイズ特性の改善を図るために、レーザーに高周波重畳をかけてマルチモードとした場合に生じる。ここで波長変化で焦点距離の変化が小さいとは、軸上色収差を小さいことが要請されることを意味している。

【0050】以下、まず軸上収差と軸外収差を確保するレンズの基本形態を詳しく説明し、その後色収差特性の良いレンズ系対の説明を行う。

【0051】両面非球面レンズは、軸上収差及び軸外収差を確保するための条件(1)と(2)の2つを同時に満たすことが出来る。条件(1)と(2)を同時に満たすレンズをアプラナートと呼ぶ。

【0052】しかし、一般に、条件(1)及び(2)を満たしていると、偏芯公差を確保するための条件(3)を満たすことは出来ない。

【0053】ところで、条件(2)が満足されていて、(3)がほぼ満たされると、レンズ全体が正弦条件を満たし、かつ第2面も正弦条件をほぼ満足することから、第1面においても光線高さと屈折角の関係において正弦条件がほぼ満足される。

【0054】さらに、本実施の形態においては、軸上収差及び軸外収差を確保するための条件(1)と(2)、偏芯公差を確保するための条件(3)のバランスを取り、ほぼ満足されている条件(3)の満足度を案分することで、軸上収差及び軸外収差を確保しつつ、レンズの製造が可能な偏芯公差を確保することが可能である。

【0055】前記した「特に口径比の大きい非球面アプラナート・レンズに関する研究」(吉田正太郎、東北大学科学計測研究所報告、1958年3月)によると、両面非球面レンズに関して、焦点距離を一定にして、レンズ半径をベンディングして変化させた場合、かなり広い頂点半径の組み合わせの範囲で、条件(1)と(2)を同時に満足するレンズが得られることが明らかにされている。

【0056】さらに、田中康宏「アプラナティック単レ

ンズ設計とディスク光学系への応用」、光学 27, 12 (1998) p720によれば、面間の偏芯に強いレンズは、条件(3)を満足することが示されている。

【0057】ここで、条件(1)と(2)を満足する非球面レンズの設計の中で、条件(3)を満足するものがあれば、偏芯公差に強いレンズと言える。しかしながら、前記したようにこれらを同時に完全に満足することはできない。さらに、本願の発明者の解析に依れば、開口数が大きくなればなるほど、条件(1)～(3)について完全性からの乖離が大きくなることが判明している。

【0058】実際、従来のDVDディスク用の開口数が0.6のレンズ又はCDディスク用の開口数が0.45のレンズの程度であれば、開口数が低いと、頂点半径の設定をかなり広い範囲で変化させても収差の増加は少なく、軸上収差と軸外収差の間のバランスを容易に取ることが出来る。すなわち、どの半径を出発点としても、軸外収差または軸上収差を僅かに犠牲にすれば偏芯公差を大きく出来る。

【0059】これに対して、開口数が上がり、波長が短くなると、収差は波長に反比例して大きくなるので、設計上の余裕がなくなる。そこで、このようなレンズに対してはより厳密に形状(近軸形状)を定める必要性があった。

【0060】ここにおいて、本願の発明者は、レンズの焦点距離、レンズの厚さ、及びディスクの厚さを定めた場合、偏芯公差の大きなレンズにおいては、同じ高さでレンズに入射する光線は、レンズの屈折率にほとんどよらず、レンズの内部で光軸に対してほぼ同じ角度を有することを見出した。また、前記角度は、ディスクの厚さ\*30

$$\sin(u_1) = 0.60866 - 0.11t/f - 0.1272d/f \dots (6)$$

図3は、レンズ厚さに関して、 $u_1$ を求める回帰式と回帰式を求めるのに用いたデータの関係を示した図である。図中の符号◆は実設計値を、図中の直線は回帰式による値を表している。

【0068】実設計値は、焦点距離 $f$ が2mm、レンズの硝材の屈折率 $n$ が1.75、光ディスクの透過層の厚さ $d$ が0.1mmの場合について、レンズの厚さ $t$ を変化させて設計したものの値である。実設計値と回帰式による値は、良く一致しており、回帰式の正当性が示されている。

【0069】図4は、ディスク厚さに関して、 $u_1$ を求める回帰式と回帰式を求めるのに用いたデータの関係を示した図である。図中の符号◆は実設計値を、図中の直線は回帰式による値を表している。

【0070】実設計値は、焦点距離 $f$ が2mm、硝材の屈折率 $n$ が1.75、レンズの透過層の厚さ $t$ が3mmの場合について、ディスクの厚さ $d$ を変化させて設計した値である。実設計値と回帰式による値は良く一致して

\*とレンズに厚さに依存することを見出した。

【0061】本実施の形態では、このような性質を利用して、条件(1)～(3)の間のバランスをとりつつ、各条件を相応に確保するようにする。

【0062】図1は、レンズの形態を説明する図である。

【0063】対物レンズ11は、入射する光束 $L_1$ を屈折し、光ディスク21の信号記録面上に集光する。対物レンズ11の第1面1の頂点における曲率半径は $R_1$ であり、第2面2の頂点における曲率半径は $R_2$ である。また、レンズ11の中心厚さは $t$ 、光ディスク21の透過層の厚さは $d$ である。さらに、レンズ11の作動距離は $d_w$ である。

【0064】図2は、レンズ内部の光線の角度と、第2面の結像倍率を説明する図である。

【0065】光軸に平行に対物レンズ11に入射した光束 $L_1$ について、最大高さの光線は、対物レンズ11の第1面1で屈折して光軸と $u_1$ の角度をなし、さらに対物レンズ11の第2面2で屈折して光軸と $u_2$ の角度をなす。

【0066】ここで、開口数が0.85の場合の式を示す。 $u_1$ は、第1面1で屈折された最大高さの光線が光軸となす角であるが、条件(1)と(2)を満たしたアプラナートによって非球面化した場合に、開口数が0.85の光線が作る角度でもある。前述のように、この角度は、特性の良いレンズにおいて、レンズの焦点距離 $f$ に対するレンズの中心厚さ $t$ と光ディスク厚さ $d$ で決まり、レンズの屈折率によらない。この式を、次に示す。

【0067】

おり、回帰式の正当性が示されている。

【0071】さて、前記式(6)を用いて、レンズの諸定数を定めるには、近軸の公式を使うのが簡単である。

【0072】ところで、このレンズは、第1面と第2面が単独で、ほぼ正弦条件を満足している。ここで、 $u_1$ と $u_2$ の関係は、第2面での結像作用で決まる。ところで、面が単独で正弦条件を満足するとは、面における実光線の結像倍率が、光線の高さによらず、近軸倍率と同一の一定値を取ると言うことである。

【0073】すなわち、第2面の近軸結像倍率を $\beta$ とすると、次の関係が成り立つ。ここで、 $up_1$ 、 $up_2$ は近軸光線の傾き、 $u_1$ 、 $u_2$ は実光線の傾きである。

【0074】 $\beta = n \cdot up_1 / up_2 = n \cdot \sin(u_1) / \sin(u_2)$

ここで、最大高さの光線の開口数、すなわち $\sin(u_2)$ が0.85であるから、次式が得られる。

【0075】 $\beta = n \cdot \sin(u_1) / 0.85$

さらに、本願の発明者は、 $u_1$ (と $up_1$ と $\beta$ )が、開

口数に応じて変化することを見出した。

【0076】これは、条件(1)と(2)を満たすと、条件(3)には僅かに誤差が残るが、光線の屈折角が最も大きくなるレンズの最外周で条件(3)を満たすようにすると、最も偏芯に強くなるからである。このため、 $\beta$ は開口数に依存する。

【0077】開口数を考慮した $\beta$ を一般化した $\beta'$ は、次の式で与えられる。第2面の結像倍率 $\beta'$ は、開口数(NA)を加味したものである。

$$【0078】\beta' = \beta (0.83 + 0.2 \cdot NA)$$

図5は、開口数による結像倍率 $\beta'$ の変化を求めるために用いたデータと回帰式の関係を示す図である。図中の符号◆は実設計値を、図中の直線は回帰式による値を表している。

【0079】実設計値は、焦点距離 $f$ が2mmで、硝材の屈折率 $n$ が1.75で、レンズの厚さ $t$ が2mmの場合について、開口数を変化させて設計したものの値である。実設計値と回帰式による値は良く一致しており、回帰式の正当性が示されている。

【0080】ここで、 $R1$ と倍率 $\beta'$ の間は、次のような関係がある。

$$【0081】R1 = f(n-1) / \beta'$$

図6は、この式の導出を説明する図である。

【0082】図6のAに示すレンズは、屈折率 $n$ であり、曲率 $R101$ の第1面101と曲率 $R102$ が無無限大の第2面102を有し、光軸に平行な光線 $L101$ が入射している。第2面は、曲率 $R102$ が無無限大なので平面である。この場合、焦点距離 $f'$ 、第1面101の曲率 $R101$ 、屈折率 $n$ の間には、次の関係がある。

$$【0083】f' = R / (n-1)$$

図6のBは、像界112が屈折率 $n$ の場合を示す。曲率 $R101$ の第1面101に入射した光軸に平行な光線 $L101$ は、第1面101の頂点から距離 $L$ の位置で光軸と交わっている。この場合、次の関係式が成り立つ。

【0084】 $f' = L/n$ したがって、第1面101の曲率 $R101$ は、次のように表すことができる。

$$【0085】$$

$$R101 = (n-1) f' = (n-1) / n \cdot L$$

図6のCは、両凸レンズへの拡張を説明する図である。両面凸のレンズ113に最大高さ $h$ の光軸に平行な光線が入射している。図中の $L$ は、図6のBで示した $L$ に相当している。倍率の定義により、次の式が得られる。

$$【0086】\beta = n \cdot u1 / u2 = n \cdot f / L$$

すなわち、次のようになる。

$$【0087】L = n \cdot f / \beta$$

この式を用いると、第1面101の曲率半径 $R101$ を、屈折率 $n$ 、焦点距離 $f$ 、結像倍率 $\beta$ で表すことができる。

$$【0088】R101 = (n-1) \cdot f / \beta$$

このようにして、上述の $R1$ と $\beta'$ の関係式が得られ

る。上述の式を基に、 $R1$ を求めると次式が得られる。

$$【0089】R1 = B / C$$

$$B = 0.85 f (n-1)$$

$$C = n (0.60866 - 0.11 \cdot t / f - 0.1272 \cdot d / f) (0.83 + 0.2 \cdot NA)$$

開口数が0.75以上のレンズの場合、偏芯公差を十分に満足したレンズを設計するためには、前記曲率半径 $R1$ から、好ましくは0.05、より好ましくは0.04、さらにより好ましくは0.03以内であることが好ましい。

【0090】ここで、 $\sin(u1)$ は、 $R1$ と反比例している。 $\sin$ 関数の特性として、 $u1$ に比べると $\sin(u1)$ の変化は小さいので、 $u1$ の変化は大きくなる。すなわち、 $R1$ に許容される範囲と比べて $u1$ に許容される範囲は広くなる。

【0091】このような関係を整理すると、第1面の曲率半径 $R1$ に対する次のような条件として表すことが出来る。

$$【0092】$$

$$(1-D) A < R1 < (1+D) A \quad \dots (7)$$

$$A = B / C$$

$$B = 0.85 f (n-1)$$

$$C = n (0.60866 - 0.11 \cdot t / f - 0.1272 \cdot d / f) (0.83 + 0.2 \cdot NA)$$

ただし、 $D$ は正数であり、好ましくは0.05、より好ましくは0.04、さらにより好ましくは0.03である。

【0093】なお、ディスクの透過層の影響は比較的小なく、屈折率が1.45~1.65の範囲で、大きな変化はない。

30

【0094】前記した0.03~0.05の幅は、このディスクの屈折率の違い、厳密にはレンズの屈折率により生じる僅かな違いを含んでの値である。

【0095】なお、レンズの屈折率が低く、開口数が0.75より低い値の時は余裕が増えるため、この値から5%以内で概ね良好な設計を得ることが出来る。

【0096】上記をまとめると、レンズの第1面の曲率半径 $R1$ に関する条件(7)を満たすと、軸上収差特性、軸外収差特性、及び偏芯公差(による収差増加)を同時に満足することが出来る。

40

【0097】さらに補足すると、本実施の形態の非球面レンズは、光軸に対して回転対称なレンズ(共軸光学系)であっても、方向により僅かに非球面形状を変化させたトーリックレンズ(toric lens)のような形状であっても良い。トーリックレンズのような形状の場合も、各々の方向における第1面の曲率半径 $R1$ が前記した範囲に入っている必要があるのは言うまでもない。

【0098】条件(7)の示す範囲に第1面の曲率半径 $R1$ を設定すると、第2面の曲率半径 $R2$ は、次の式により、設定された焦点距離 $f$ から自動的に決まる。な

50

お、この式は、両面の半径と厚さが与えられた場合の、単レンズの近軸焦点距離を計算する基本的な式から容易に導ける。

$$【0099】 R2 = G / H$$

$$G = f(n-1)(t(n-1)/n - R1)$$

$$H = (R1 - f(n-1))$$

このようにして第1面の頂点における曲率半径R1と第2面の頂点における曲率半径R2が決まる。これらの曲率半径に基づいて、条件(1)と(2)を同時に満足するように、両面を非球面化すると、非球面の形状は一義的に決まる。このとき、条件(3)の正弦条件の満足度が高くなり、偏芯公差の大きいレンズを得ることが出来る。

【0100】前述したように、条件(1)と条件(2)を完全に満足しながら、条件(3)を満足することは出来ない。これは、3個の条件に対して、レンズの設計自由度が非球面2面しかなく、設計自由度が2であるためである。したがって、前記したようにして得られた非球面形状を僅かに変更して、偏芯公差を増加させることも可能である。この場合は、軸上収差又は軸外収差の劣化が避けられないが、実用的なレンズを得るために重要な製造公差を確保することが出来る。

【0101】これは別の言い方をすると、軸上収差と軸外収差を適切に劣化させて、偏芯公差を確保できるバランスを取った設計を行うと言える。さらに別の言い方をすると、前記の三つの条件(1)～(3)の満足度合いを案分する作業とも言える。

【0102】そして、このように非球面形状の探索をする際には、出発点となる球面の半径は、条件(6)又は(7)を満足していなければ、偏芯公差、軸外収差又は軸上収差の増大を招き、収差間のバランスを採った設計が出来ない。

【0103】ところで、上記したレンズは、偏芯公差は確保されたもの、条件(4)と(5)を未考慮であるため、色収差特性が確保できる十分条件を満たしていない。次に、色収差特性に関して詳しい説明をする。

【0104】ここで、レンズの軸上厚さと焦点距離が、次の式を満たす。

$$【0105】 t > (1+E)f$$

ここに、fは焦点距離、tはレンズの軸上厚さである。Eは、0以上の数であり、好ましくは0、より好ましくは0.1、さらにより好ましくは0.2である。

【0106】上記関係を持つ場合、条件(4)と条件(5)の満足度が高まる。

【0107】まず条件(4)の波長誤差がある場合の各波長での最良像面の収差増加が小さいことに関しては、レンズの中心厚さが厚いほうがレンズ第1面(入射面)の半径を比較的大きくできるからである。より詳細には、第1面の曲率半径が大きくなると、レンズの外側の端部を通る光線の、レンズへの入射角θ(レンズ面の法

線と光線のなす角度)が小さくなり、これにより非線形現象としての屈折の効果が小さくなり、その結果として波長が変化した場合の球面収差の増加が少なくなるからである。

【0108】図7は、レンズの中心厚さと、波長誤差(5nm)による残留収差の関係である。残留収差は球面収差である。この図は、NAが0.85で、焦点距離が2.5mmのレンズを多数設計して描いた。硝材は、オハラ製のLAM70である。またレンズ設計では、偏芯公差を比較的大きめに取り設計を採用している。

【0109】図7によれば、レンズの厚さが、焦点距離より薄くなると、0.04λ以上と、大きな収差が発生することがわかる。また、厚さが焦点距離の1.2倍の3mm以下で収差の増加が大きいこともわかる。

【0110】次に、条件(5)の波長拡がりがある場合の収差増加に関しては、波長拡がりがある場合は、その拡がりに中心波長の最良像面を観測面とした場合、他の波長では、前述の球面収差に加えて、焦点誤差が発生する。実際には、球面収差に比べて焦点誤差の影響の方が大きい、特に、波長が0.45μm以下の場合は、ガラスの屈折率の分散が大きくなるため、焦点誤差の影響が非常に大きくなる。

【0111】この焦点誤差は、波長が変化した場合の、レンズのバックフォーカス距離の変化に起因する。レンズのバックフォーカス距離fbは、近軸近似による光線追跡式で求めることが出来る。それが、R1、t、nと次の関係式である。

【0112】 $fb = f(1 - t(n-1)/n/R1)$   
ガラスの分散に応じて、nを変化させた場合の、fbの値の差が、焦点誤差となる。

【0113】図8は、焦点距離が2mmで屈折率が1.75のレンズにおいて、ガラスの屈折率が1.7486に変化した場合の、fbの変化量を示している。fbの変化量は、軸上色収差である。また、この屈折率の変化は、アッペ数が45程度のガラスを、400nm付近の波長で用いた場合の、約5nmの波長変化時の屈折率変化に相当する。レンズ形状は平凸レンズであり、R1は1.5mmである。現実のレンズは、平凸レンズではなく両面が球面とされている。より正確には非球面であるが、f、fb等の近軸諸量は、頂点の半径で決まるので球面レンズとして問題はない。しかし、fbの変化は、焦点距離を保ってR1とR2を変化させる、レンズのベンディングにあまり影響されず平凸レンズの場合と非常に近い結果になるので、図8により判断することで問題ない。図によれば、軸上色収差は、レンズの厚さに比例して小さくなる。したがって、レンズの厚さは出来るだけ厚いことが望まれる。

【0114】ところで、本明細書の式の範囲内に、完全アプラナート・レンズにおいて、偏芯による収差増加が最小になる第1面半径がある。ここで、上記した、収差



のバランスを取る場合には、必ずしも偏芯収差が最小になる半径を用いる必要はなく、条件式を超えることがない範囲で、その近傍の僅かに異なる半径を非球面形状の頂点の半径として用いて、軸上収差と軸外収差とのバランスを取ることが可能である。

【0115】収差のバランスを取るとは、設計自由度と言える、完全アプラナート・レンズに不完全性を導入することに他ならず、レンズの半径自体も、自由度を追加してバランスを取ることが可能になる。

【0116】もちろん、条件式を超えて変化させた場合には、収差間のバランスを取るとは難しくなるため、条件式は守る必要がある。

【0117】上記では、開口数による特性の変化を、結像倍率 $\beta$ の変化に着目して記述したが、さらにここで、レンズ内部における最高高さの光線が光軸となす角度 $u_1$ の開口数による変化に注目して説明する。

【0118】まず、開口数が変化すると、 $u_1$ は概ね開口数に比例して変化する。更に、これに加えて、 $\beta$ の変化で記述したことと同様な理由により、比例的变化から少しずれる。正確には、 $\beta$ の変化は、 $u_1$ の変化に起因\*20

$$(1-D) \sin(K) < \sin(u_1') < (1+D) \sin(K) \quad \dots (8)$$

$$K = (0.60866 - 0.11 \cdot t/f - 0.1272 \cdot d/f) (0.83 + 0.2 \cdot NA) \cdot NA / 0.85$$

ただし、 $D$ は正数であり、好ましくは0.06、より好ましくは0.05、さらにより好ましくは0.04である。

【0125】なお、ディスクの透過層の影響は比較的少なく、屈折率が1.45~1.65の範囲で、大きな変化はない。

【0126】前記した0.04~0.06の幅は、このディスクの屈折率の違い、厳密にはレンズの屈折率により生じるわずかな違いを含んでの値である。

【0127】また、レンズの屈折率が低く、開口数が0.75より低い時は、余裕が増えるため、この値から6%以内の角度で概ね良好な値を得ることが出来る。

【0128】ここで、レンズの軸上厚さと焦点距離が、次の関係式を満たす。

$$【0129】t > (1+E) f$$

ここに、 $f$ は焦点距離、 $t$ はレンズの軸上厚さ、 $E$ は、0以上の数であり、好ましくは0、より好ましくは0.1、さらにより好ましくは0.2である。

【0130】上記をまとめると、レンズ内部での最大高さの光線の光軸と成す角 $u_1'$ に対して、条件(4)を満たすと、軸上収差特性、軸外収差特性及び偏芯公差(による収差増大)を同時に満足することが出来る。

【0131】さらに補足すると、この非球面レンズは、光軸に対して回転対称なレンズ(共軸光学系)であっても、方向により僅かに非球面形状を変化させた、トオーイックレンズのような形状であっても良い。後者の場合

\*している。

【0119】このこと考慮した、 $NA$ が0.85以外の場合の内部角度を $u_1'$ とする。

【0120】 $u_1'$ は次の式で表される。

$$【0121】K = (0.60866 - 0.11 \cdot t/f - 0.1272 \cdot d/f) (0.83 + 0.2 \cdot NA) \cdot NA / 0.85$$

ここで、 $f$ は焦点距離、 $t$ はディスクの中心厚さ、 $d$ は光ディスクの透過層の厚さ、 $NA$ はレンズの開口数である。

【0122】そして、開口数が0.75以上のレンズの場合、偏芯公差を十分に確保したレンズを設計するためには、内部角度 $u_1'$ から、好ましくは0.06、より好ましくは0.05、さらにより好ましくは0.04の範囲にあることが好ましい。

【0123】このような関係を整理すると、内部角度 $u_1'$ に対する次のような条件として整理することが出来る。

【0124】

も、各々の方向における第1面の曲率半径と厚さが前記した範囲に入っている必要があるのは言うまでもない。

【0132】以下、本発明に係る光ディスク用対物レンズの実施例を示す。

【0133】実施例では、次のような多項式を用いて非球面を表す。

$$【0134】Z = CY^2 / (1 + (1 - (1 + K) C^2 Y^2) 0.5) + AR^4 + BR^4 + CR^8 + DR^{10} + ER^{12} + FR^{14}$$

ここに、 $Z$ は面の頂点からの距離、 $Y$ は光軸からの高さ、 $K$ はコーニック定数、 $A \sim F$ は4次から14次の非球面係数である。たとえば、 $A$ は、 $Y$ の4乗の係数に相当する。

【0135】<実施例1>図9は、実施例1の対物レンズの断面図である。

【0136】対物レンズ11に入射した光束 $L$ は、第1面1と第2面2で屈折し、光ディスク21の第3面3と透過層を透過して信号記録面に集光される。

【0137】レンズ仕様は、表1の通りである。

【0138】

【表1】



設計波長	405nm
開口数	0.85
焦点距離	2mm
入射軸直径	3.4mm
ディスク厚さ	0.1mm
結像倍率	0

\*【0139】レンズの設計値は、表2の通りである。なお、半径及び厚さの単位はmmである。以下でも同様である。

【0140】

【表2】

\*

面番号	面形状	半径	厚さ	屈折率	コーニック定数
1	非球面	1.71	2.75	1.85	-0.9168291
2	非球面	-75.9027	0.4605	-	2518.08
3	-	無限大	0.1	1.62230752	-
像面	-	-	-	-	-

【0141】第1面の非球面係数は、表3の通りである。

【0142】

【表3】

rの4乗の係数	0.013687371
rの6乗の係数	0.00087533585
rの8乗の係数	0.00087533585
rの10乗の係数	-0.00077467164
rの12乗の係数	0.00030433925
rの14乗の係数	-5.3502493×10 <sup>-4</sup>

【0143】第2面の非球面係数は、表4の通りである。

【0144】

【表4】

rの4乗の係数	0.22363727
rの6乗の係数	-0.58889528
rの8乗の係数	0.72567392
rの10乗の係数	-0.47382503
rの12乗の係数	0.12985027

【0145】このレンズ仕様から、計算されるR1の推奨値、すなわち式(7)におけるAの値は、1.731695mmである。この推奨値と実設計値との乖離は、1.25%である。

【0146】このレンズの特性は、ほぼ条件(1)と(2)を満足し、僅かに条件(3)に誤差の残るアプラナートである。

【0147】このレンズにおいては、軸上での波面収差は、0.002λと小さく、実用上は無収差と言える値である。軸外0.5度の入射光線に対する波面収差は、0.023λと良好な特性を示している。さらに、製造工程で重要な面間の偏芯に関しては、偏芯が3μmの

時、波面収差0.036λと非常に良好な値を有している。

【0148】このレンズの最も高い光線のレンズ内部における角度の正弦は、 $\sin(u1') = 0.46$ である。一方、このレンズ仕様から計算される $\sin(u1')$ の推奨値、すなわち式(8)における $\sin(K)$ は、0.4511である。この推奨値の実設計値からの乖離は1.97%である。

【0149】図10は縦収差図であり、図11は正弦条件不満足量を示す図であり、図12は非点収差図である。

【0150】図13は、実施例1のレンズと同じ屈折率と厚さを保ちながら、第1面の曲率半径R1を僅かに変化させて設計したレンズにおいて、偏芯が3μmある場合の収差の増加の様子を示す図である。

【0151】収差の増加は、符号□で示す開口数が0.75の場合と、符号◆で示す0.85の場合とが示されている。

【0152】各々の開口数における、式(7)のAの値は、開口数0.75で1.767mm、開口数が0.85で1.732mmである。

【0153】図より、偏芯時の収差の限界を0.04λと設定すると、第1面の曲率半径R1を、推奨値となるAの値の少なくとも5%以内に設定することが望まれることがわかる。さらに、望ましくは、4%以内にあれば、確実に0.04λ以下に設定できる。

【0154】また、開口数が高くなると、R1が変化した場合の収差増加が大きくなることを考慮すると、3%以内であることがさらに推奨される。

【0155】ところで、開口数が0.85の場合に、収差最良点とAから理論的に与えられる値が1%程度ずれているが、これは、回帰式の誤差によるもので、前記した範囲は、これを考慮しての値である。

【0156】なお、このレンズ仕様の場合、3μmの偏芯で、0.04λの収差が実現されているが、仕様に

よってはかなり大きい値しか実現できない場合もある。このような場合においても、収差を小さく抑えるためには、上記した範囲に抑える必要があるのは言うまでもない。

【0157】レンズの厚さは焦点距離の1.375倍である。このレンズの硝材は屈折率を固定して設計してあるが、波長が5nm変化した場合に相当する屈折率変化として、屈折率が1.8486となった場合の、最良像面における収差は0.01λと小さな値に押さえられている。また、軸上色収差の量は、2.17μmであり低

【0158】<実施例2>図14は、実施例2の対物レンズの断面図である。

【0159】対物レンズ11に入射した光束Lは、第1面1と第2面2で屈折し、光ディスク21の第3面3と\*

面番号	面形状	半径	厚さ	屈折率	コーニック定数
1	非球面	1.45	2.5	1.75	-0.9753354
2	非球面	-3.613636	0.395	—	—
3	—	無限大	0.1	1.62230752	-188.2991
像面	—	—	—	—	—

【0164】第1面の非球面係数は、表7の通りである。

【0165】

【表7】

rの4乗の係数	0.023305393
rの6乗の係数	0.017039056
rの8乗の係数	0.0023431785
rの10乗の係数	-0.0023798936
rの12乗の係数	0.0013373117
rの14乗の係数	-0.00035090993

【0166】第2面の非球面係数は、表8の通りである。

【0167】

【表8】

rの4乗の係数	0.17601287
rの6乗の係数	-0.54949768
rの8乗の係数	0.50420582
rの10乗の係数	0.12942116
rの12乗の係数	-0.37309714

【0168】このレンズ仕様から、計算されるR1の推奨値、すなわち式(7)のAの値は、1.4495mmである。この推奨値と実設計値との乖離は、0.3%である。このレンズの特性は、ほぼ条件(1)と(2)を満足した僅かに条件(3)に誤差の残るアプラナートで

\*透過層を透過して信号記録面に集光される。

【0160】レンズ仕様は、表5の通りである。

【0161】

【表5】

設計波長	405nm
開口数	0.8
焦点距離	1.750mm
入射径直径	2.8mm
結像倍率	0

【0162】レンズの設計値は、表6の通りである。

【0163】

【表6】

ある。

【0169】軸上での波面収差は、0.001λと非常に小さく、実用は無収差と言える値である。軸外0.5度の入射光線に対する波面収差は、0.013λと良好な特性を示している。さらに、製造公差で重要な面間の偏芯に関しては、偏芯が3μmの時に波面収差0.023λと、非常に良好な値を有している。

【0170】このレンズの、最も高い光線のレンズ内部の角度u1'の正弦は、 $\sin(u1') = 0.421$ である。一方、このレンズ仕様から、計算される、 $\sin(u1')$ の推奨値、すなわち、式(8)における $\sin(K)$ は、0.44である。この推奨値の実設計値との乖離は、1.7%である。

【0171】図15は縦収差図であり、図16は正弦条件不満足量を示す図であり、図17は非点収差図である。

【0172】レンズの厚さは焦点距離の1.429倍である。このレンズの硝材は屈折率を固定して設計してあるが、波長が5nm変化した場合に相当する屈折率変化として、屈折率が1.7486となった場合の、最良像面における収差は0.01λと小さな値に押さえられている。また、軸上色収差の量は、2.10μmであり低

【0173】<実施例3>図18は、実施例3の対物レンズの断面図である。

【0174】対物レンズ11に入射した光束Lは、第1面1と第2面2で屈折し、光ディスク21の第3面3と透過層を透過して信号記録面に集光される。

【0175】レンズ仕様は、表9の通りである。

\*【表9】

【0176】

\*

設計波長	405nm
開口数	0.85
焦点距離	2.2mm
入射径直径	3.74mm
ディスク厚さ	0.1mm
結像倍率	0

【0177】レンズの設計値は、表10の通りである。 10※【表10】

【0178】

※

面番号	面形状	半径	厚さ	硝材	コーニック定数
1	非球面	1.812171	3.104	NBF1	-0.3371789
2	非球面	-6.607584	0.500289	-	-845.6516
3	-	無限大	0.1	ポリカーボネート	-
4	像面	-	-	-	-

【0179】第1面の非球面係数は、表11の通りである。  
★【0180】

★20 【表11】

rの4乗の係数	-0.00092006967
rの6乗の係数	-0.00025706693
rの8乗の係数	-0.00057872391
rの10乗の係数	0.0002222827
rの12乗の係数	-5.6787923×10 <sup>-6</sup>

【0181】第2面の非球面係数は、表12の通りである。  
☆【0182】

☆ 【表12】

rの4乗の係数	0.061448774
rの6乗の係数	-0.13995629
rの8乗の係数	0.12867014
rの10乗の係数	-0.043733069

【0183】各硝材の屈折率は表13の通りである。

◆【表13】

【0184】

◆

NBF1	1.76775590
ポリカーボネート	1.62031432

【0185】このレンズ仕様から、計算されるR1の推奨値、すなわち式(7)のAの値は、1.81581mmである。この推奨値と実設計値との乖離は、0.2%である。このレンズの特性は、ほぼ条件(1)を満足していて、(2)は多少の不満足を残し、その分実施例1のレンズよりも、偏芯時の収差増加を抑えたレンズとなっている、そして、条件(3)には、僅かに誤差の残るアプラナートに非常に近いレンズである。

【0186】軸上での波面収差は、0.006λと非常に小さく、実用は無収差と言える値である。軸外0.5度の入射光線に対する波面収差は、0.069λと良好

な特性を示している。さらに、製造公差で重要な面間の偏芯に関しては、偏芯が5μmの時に波面収差0.034λと、非常に良好な値を有している。

【0187】このレンズの、最も高い光線のレンズ内部の角度u1'の正弦は、sin(u1')=0.466である。一方、このレンズ仕様から、計算される、sin(u1')の推奨値、すなわち、式(8)におけるsin(K)は、0.464である。この推奨値の実設計値との乖離は、0.43%である。

【0188】図19は縦収差図であり、図20は正弦条件不満足量を示す図であり、図21は非点収差図であ

る。

【0189】レンズの厚さは焦点距離の1.411倍である。波長が5nm変化して410nmになった場合の、最良像面における収差は0.029λと小さな値に押さえられている。また、軸上色収差の量は、2.21μmであり低く押さえられている。

【0190】なお、本実施の形態では、光ディスク用対物レンズについて具体的数値を用い説明したが、本発明はこれらの数値に限定されない。本発明は、本発明を逸脱しない範囲で種種の光ディスク用対物レンズに対して適用できる。

【0191】あえて数値の具体例を挙げると、本実施の形態においては、光ディスクには、例えば範囲0.01～0.3mmの厚さの透過層を有するものを用いることができる。また、対物レンズには、例えばNBF1のような光学ガラスを用い、例えば1.5～2.0の範囲の屈折率を有するものを用いることができる。

【0192】

【発明の効果】前述のように、本発明によると、開口数が0.75以上で、軸上収差、軸外収差と面間の偏芯収差にすぐれた、両面非球面の単レンズによる光ディスクの対物レンズを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

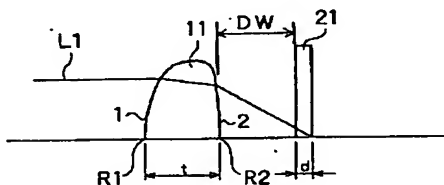
【図1】対物レンズの形態を説明する図である。

【図2】対物レンズ内部の光線の角度と、第2面の結像倍率を説明する図である。

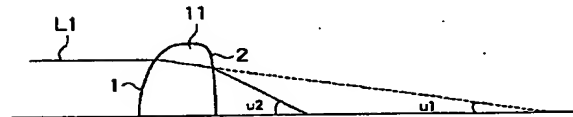
【図3】レンズ厚さに関して、u1を求める回帰式と回帰式を求めるのに用いたデータの関係を示した図である。

【図4】ディスク厚さに関して、u1を求める回帰式と回帰式を求めるのに用いたデータの関係を示した図である。

【図1】



【図2】



【図5】開口数による結合倍率βの変化を求めるために用いたデータと回帰式の関係を示す図である。

【図6】R1とβとの関係式の導出を説明する図である。

【図7】レンズの中心厚さと、波長誤差(5nm)による残留収差の関係をj示す図である。

【図8】焦点距離が2mmで屈折率が1.75のレンズにおいて、ガラスの屈折率が1.7486に変化した場合の、fbの変化量を示している。

10 【図9】実施例1の対物レンズの断面図である。

【図10】実施例1の対物レンズの縦収差図である。

【図11】実施例1の対物レンズの正弦条件不満足量を示す図である。

【図12】実施例1の対物レンズの非点収差図である。

【図13】実施例1のレンズと同じ屈折率と、厚さを保ちながら、R1を僅かに変化させて設計したレンズにおける、収差の増加の様子を示す図である。

【図14】実施例2の対物レンズの断面図である。

【図15】実施例2の対物レンズの縦収差図である。

20 【図16】実施例2の対物レンズの正弦条件不満足量を示す図である。

【図17】実施例2の対物レンズの非点収差図である。

【図18】実施例3の対物レンズの断面図である。

【図19】実施例3の対物レンズの縦収差図である。

【図20】実施例3の対物レンズの正弦条件不満足量を示す図である。

【図21】実施例3の対物レンズの非点収差図である。

【符号の説明】

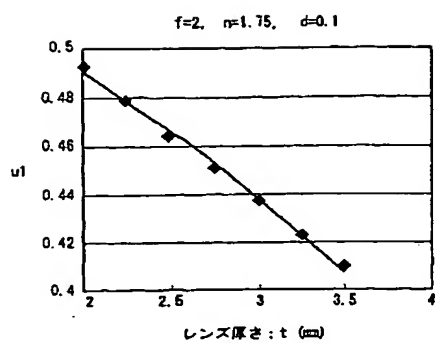
1 第1面

2 第2面

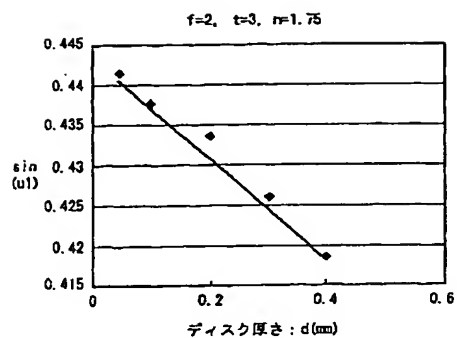
11 対物レンズ

21 光ディスク

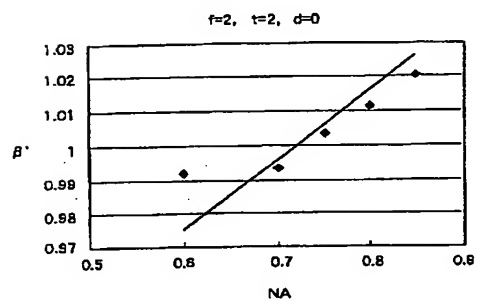
【図3】



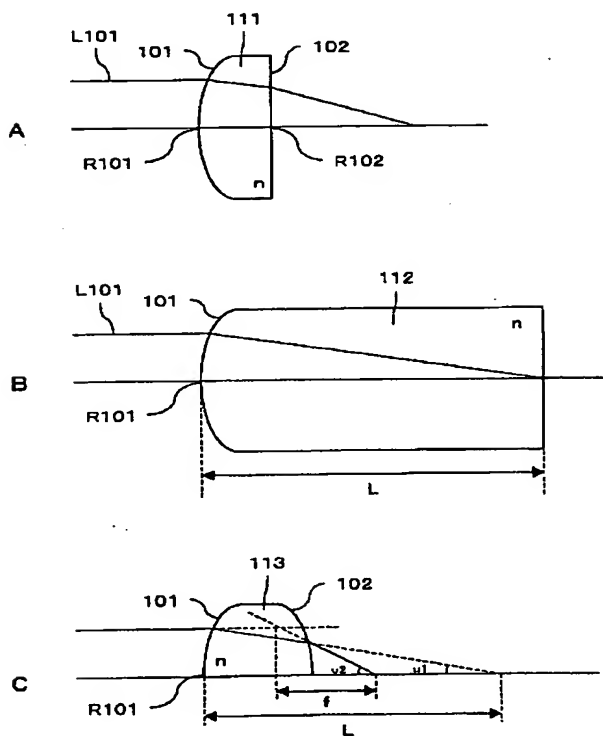
【図4】



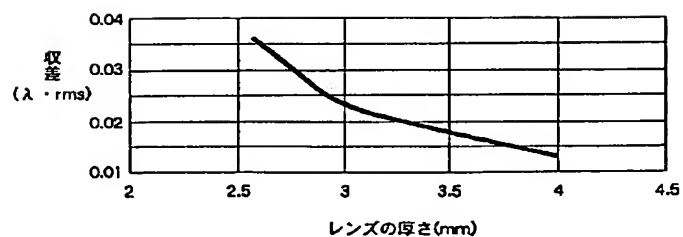
【図5】



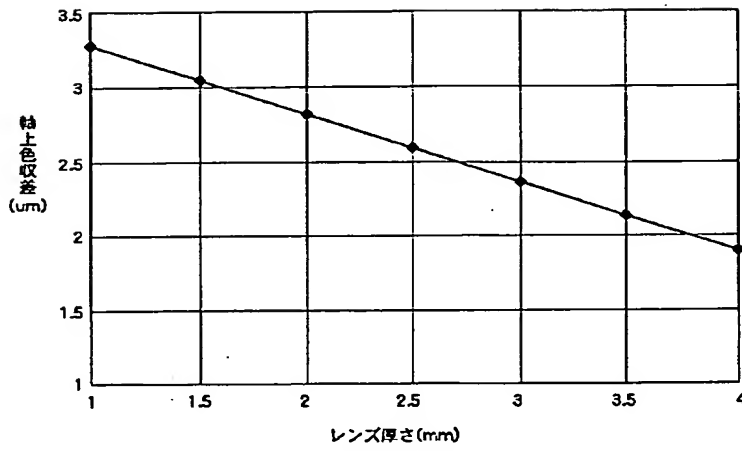
【図6】



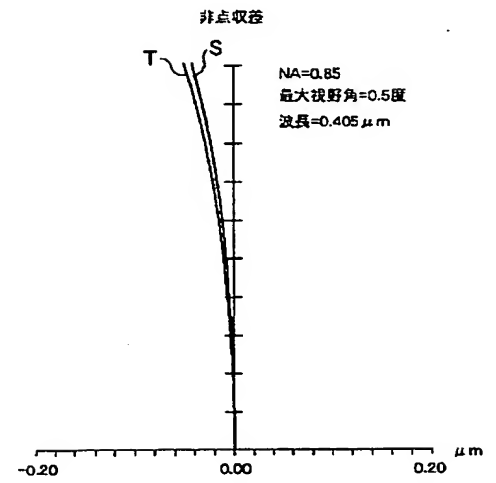
【図7】



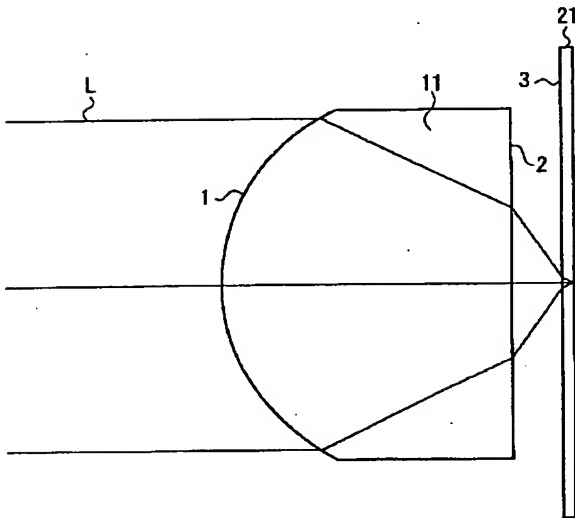
【図8】



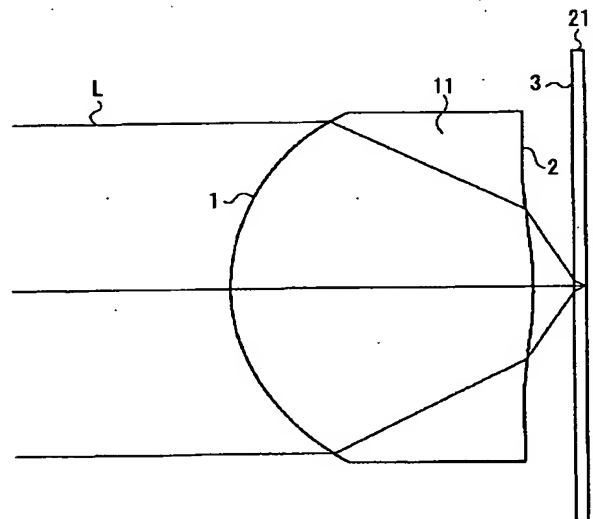
【図12】



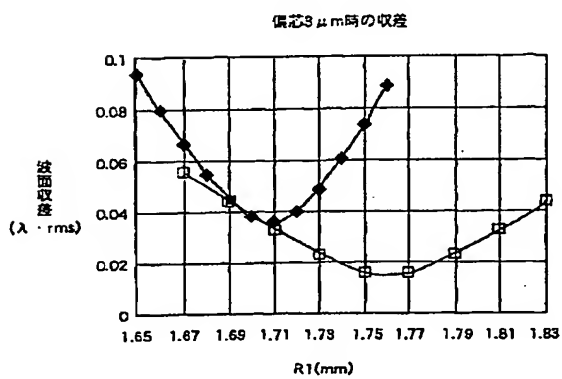
【図9】



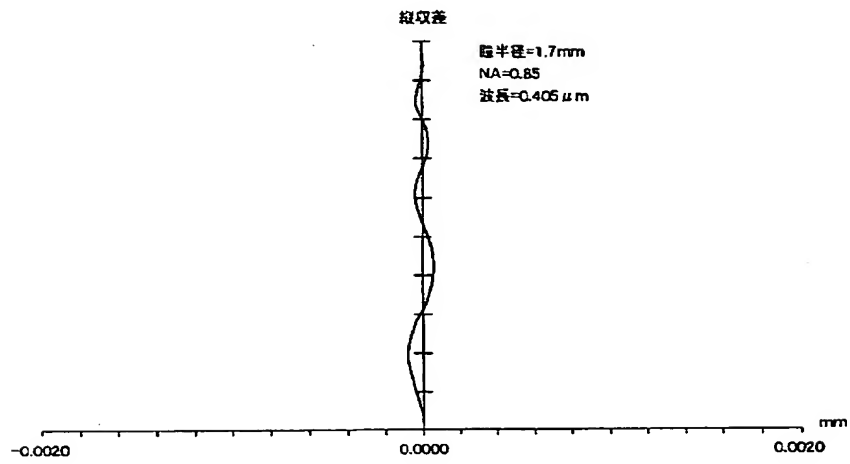
【図14】



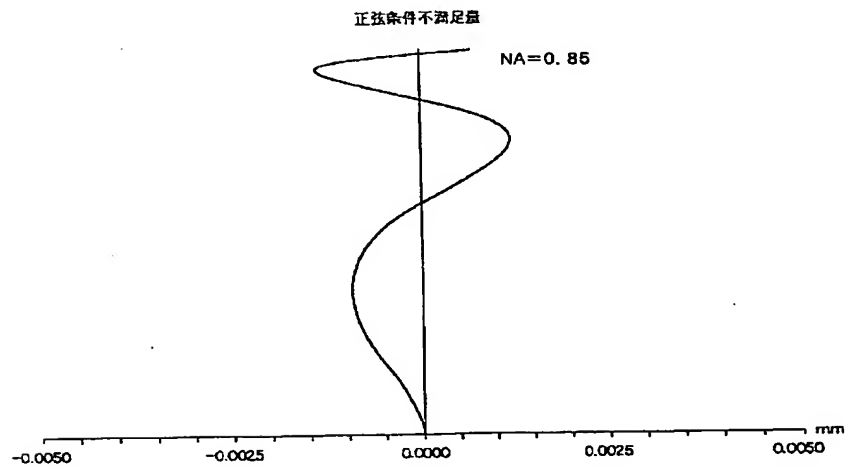
【図13】



【図10】

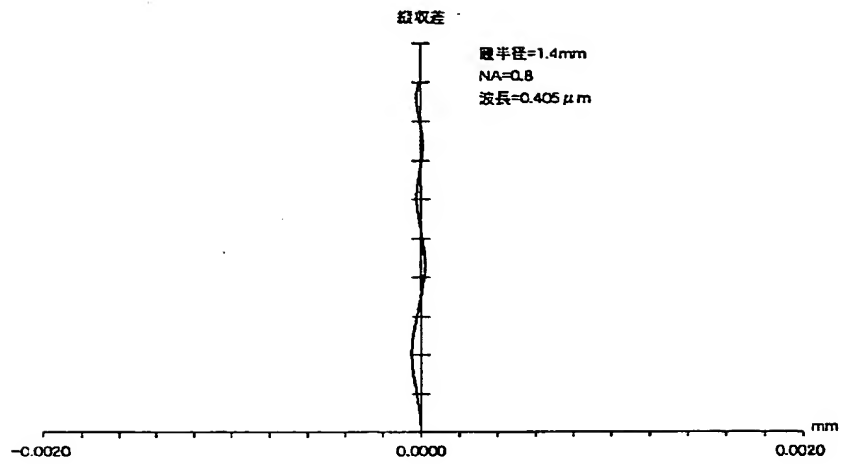


【図11】

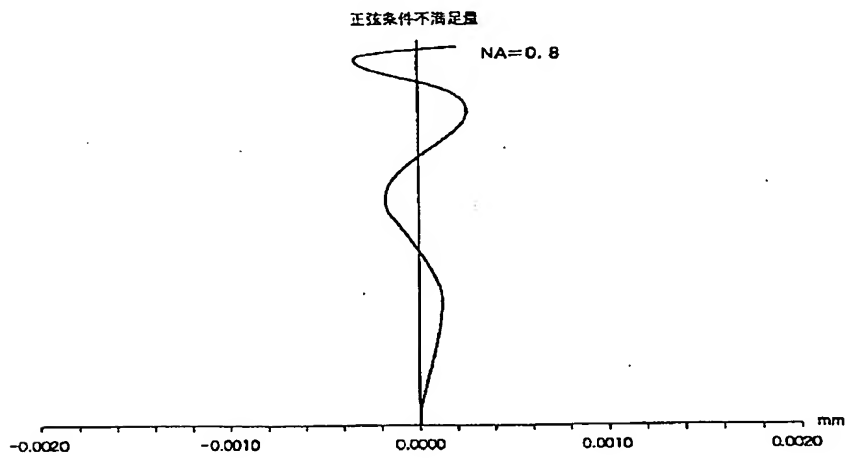




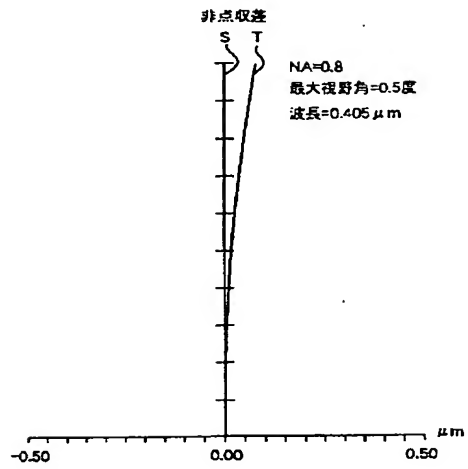
【図15】



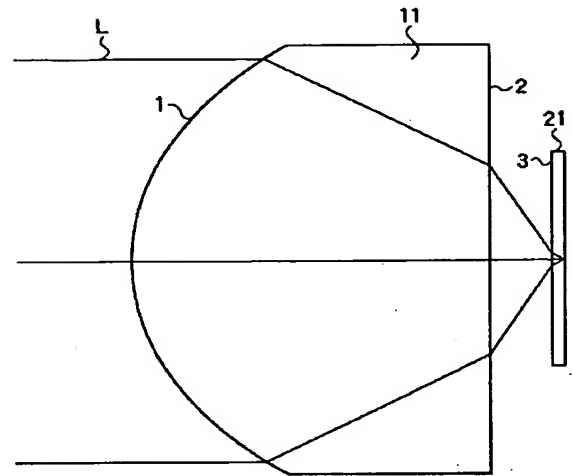
【図16】



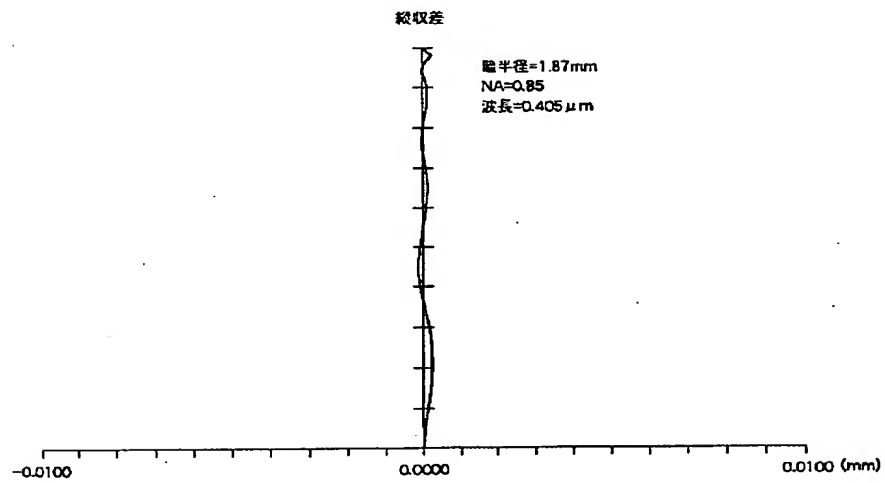
【図17】



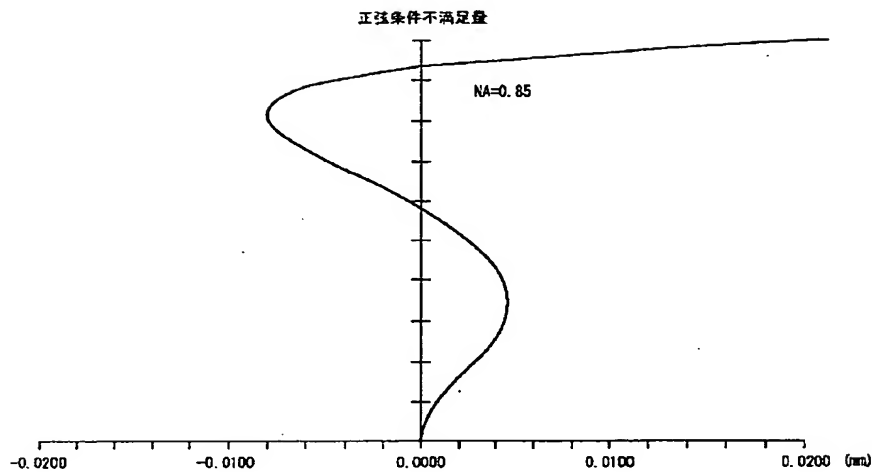
【図18】



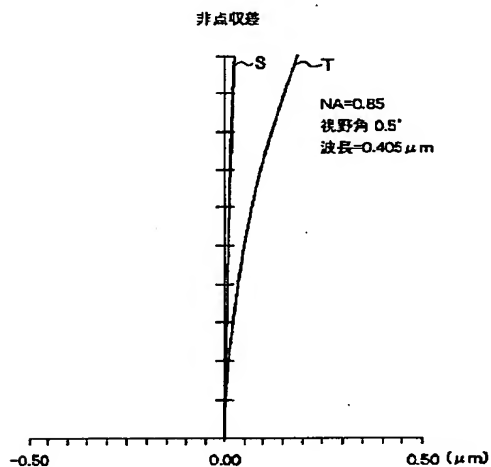
【図19】



【図20】



【図21】



## 【手続補正書】

【提出日】平成14年6月25日(2002. 6. 25)

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 両面が非球面とされた開口数NAが0.75以上の単レンズであって、第1面の頂点の曲率半径R1が次の式を満足することを特徴とする光ディスク用対物レンズ。

$$(1-D)A < R1 < (1+D)A$$

$$A = B/C$$

$$B = 0.85f(n-1)$$

$$C = n(0.60866 - 0.11 \cdot t/f - 0.1272 \cdot d/f)(0.83 + 0.2 \cdot NA)$$

ここで、nは当該レンズの屈折率、fは当該レンズの焦点距離、tは当該レンズの中心厚さ、dは当該光ディスクの透過層の厚さ、Dは0.05である。

【請求項2】 両面が非球面とされた開口数NAが0.75以上の単レンズであって、レンズの内部における最大高さの光線の光軸と成す角度 $u1'$ が、次の式を満足することを特徴とする光ディスク用対物レンズ。

$$(1-D) \sin(K) < \sin(u_1') < (1+D) \sin(K)$$

$$K = (0.60866 - 0.11 \cdot t/f - 0.1272 \cdot d/f) (0.83 + 0.2 \cdot NA) \cdot NA / 0.85$$

ここで、 $f$ は当該レンズの焦点距離、 $t$ は当該レンズの中心厚さ、 $d$ は当該光ディスクの透過層の厚さ、 $D$ は0.06である。

【請求項3】 中心厚さ $t$ と焦点距離 $f$ が次の式を満たすことを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の光ディスク用対物レンズ。

$$t > (1+E) f$$

ここで、 $E$ は0以上の数である。

【請求項4】 結像倍率が0であることを特徴とする請求項1乃至請求項3の何れか1項に記載の光ディスク用対物レンズ。

【請求項5】 前記光ディスク用対物レンズに入射される光源からの光の波長が450nm以下であることを特徴とする請求項1乃至請求項4の何れか1項に記載の光ディスク用対物レンズ。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0021

【補正方法】変更

【補正内容】

【0021】

【発明を解決するための手段】上述の課題を解決するために、本発明に係る光ディスク用対物レンズは、両面が非球面とされた開口数 $NA$ が0.75以上の単レンズであって、第1面の頂点の曲率半径 $R_1$ が次の式を満たす。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0022

【補正方法】変更

【補正内容】

$$【0022】(1-D) A < R_1 < (1+D) A$$

$$A = B/C$$

$$B = 0.85 f (n-1)$$

$$C = n (0.60866 - 0.11 \cdot t/f - 0.1272 \cdot d/f) (0.83 + 0.2 \cdot NA)$$

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0023

【補正方法】変更

【補正内容】

【0023】ここで、 $n$ は当該レンズの屈折率、 $f$ は当該レンズの焦点距離、 $t$ は当該レンズの中心厚さ（軸上厚さともいう）、 $d$ は当該光ディスクの透過層の厚さである。 $D$ は正数であり、好ましくは0.05、より好ま

しくは0.04、さらにより好ましくは0.03である。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0024

【補正方法】変更

【補正内容】

【0024】また、本発明に係る光ディスク用対物レンズは、両面が非球面とされた開口数 $NA$ が0.75以上の単レンズであって、レンズの内部における最大高さの光線の光軸と成す角度 $u_1'$ が、次の式を満足する。

$$(1-D) \sin(K) < \sin(u_1') < (1+D) \sin(K)$$

$$K = (0.60866 - 0.11 \cdot t/f - 0.1272 \cdot d/f) (0.83 + 0.2 \cdot NA) \cdot NA / 0.85$$

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0025

【補正方法】変更

【補正内容】

【0025】ここで、 $f$ は当該レンズの焦点距離、 $t$ は当該レンズの中心厚さ、 $d$ は当該光ディスクの透過層の厚さである。 $D$ は正数であり、好ましくは0.06、より好ましくは0.05、さらにより好ましくは0.04である。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0026

【補正方法】変更

【補正内容】

【0026】また、好ましくは、レンズの中心厚さ $t$ と焦点距離 $f$ が次の式を満足する。

$$t > (1+E) f$$

ここで、 $E$ は0以上の数であり、好ましくは0、より好ましくは0.1、さらにより好ましくは0.2である。

【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0063

【補正方法】変更

【補正内容】

【0063】対物レンズ11は、入射する光束 $L_1$ を屈折し、光ディスク21の信号記録面上に集光する。対物レンズ11の第1面1の頂点における曲率半径は $R_1$ であり、第2面2の頂点における曲率半径は $R_2$ である。また、レンズ11の中心厚さ（軸上厚さともいう）は $t$ 、光ディスク21の透過層の厚さは $d$ である。さらに、レンズ11の作動距離は $DW$ である。

【手続補正9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0082

【補正方法】変更

【補正内容】

【0082】図6のAに示すレンズ111は、屈折率 $n$ であり、曲率 $R101$ の第1面101と曲率 $R102$ が無限大の第2面102を有し、光軸に平行な光線 $L101$ が入射している。第2面は、曲率 $R102$ が無限大なので平面である。この場合、焦点距離 $f'$ 、第1面101の曲率 $R101$ 、屈折率 $n$ の間には、次の関係がある。

【手続補正10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0083

【補正方法】変更

【補正内容】

【0083】 $f' = R / (n - 1)$

図6のBは、像界(像空間)112が屈折率 $n$ の場合を示す。曲率 $R101$ の第1面101に入射した光軸に平行な光線 $L101$ は、第1面101の頂点から距離 $L$ の位置で光軸と交わっている。この場合、次の関係式が成り立つ。